Korean J. Malacol. 32(3): 197-202 2016
http://dx.doi.org/10.9710/kjm.2016.32.3.197

한국에서 이매패류 5종의 이성생식세포 발현

김혜진, 전미애, 주선미, 강승완[1], 김재원[2], 이연규[3], 이정식

전남대학교 수산생명의학과, [1]경상남도 수산자원연구소,
[2]강원도립대학 해양생명과학과,
[3]전남대학교 해양기술학부

Intersexuality of Five Bivalves Species in Korea

Hyejin Kim, Mi Ae Jeon, Sun Mi Ju, Seung Wan Kang[1],

Jae Won Kim[2], Yeon Gyu Lee[3] and Jung Sick Lee

Department of Aqualife Medicine, Chonnam National University, Yeosu 59626, Korea
[1]Gyeongsangnam-Do Fisheries Resources Research Institute, Tongyeong 53080, Korea
[2]Gangwon Provincial College, Department of Marine Life Science, Gangneung 25425, Korea
[3]Faculty of Marine Technology, Chonnam National University, Yeosu 59626, Korea

ABSTRACT

This research reports the intersexuality of bivalves, such as *Crassostrea gigas*, *Mytilus galloprovincialis*, *Rupiditapes philippinarum*, *Gomphina veneriformis* and *Barnea davidi* discovered during the process of investigating the ecological health status of coastal waters of Korea. In intersex ovaries, the opposite germ cells were observed either individually or in groups in the interfollicular space and inside the oogenic follicle. Oocytes in the intersex testis were at the previtellogenic or initial vitellogenic stage. They were either scattered individually or in groups in the interfollicular space and inside the spermatogenic follicle. The intersexuality in *C. gigas* was 10.4% (n = 19/183), while female (12.2%, n = 6/49) exhibited a higher proportion than male (9.7%, n = 13/134). The intersexuality in *M. galloprovincialis* was 31.7% (n = 19/60), while female (36.4%, n = 12/33) exhibited a higher proportion than male (25.9%, n = 7/27). The intersexuality in *R. philippinarum* was 11.2% (n = 11/98), while male (16.7%, n = 7/42) exhibited a higher proportion than female (7.1%, n = 4/56). The intersexuality in *G. veneriformis* was 28% (n=30/107), while male (31.5%, n=17/54) exhibited a higher proportion than female (24.5%, n=13/53). The intersexuality in *B. davidi* was 18.4% (n = 7/38), while female (35.7%, n =5 /14) exhibited a higher proportion than male (8.3%, n = 2/24).

Key words: *Crassostrea gigas*, *Mytilus galloprovincialis*, *Rupiditapes philippinarum*, *Gomphina veneriformis*, *Barnea davidi*, Intersexuality

서 론

환경요인의 생태 위해성 평가방법은 기본적인 위해성 평가의 접근방법 결정에 필요한 위험성 확인 (hazard identification), 노출평가 (exposure assessment), 용량반응 평가 (dose-response assessment) 및 위해도 결정 (risk crharacterization)의 주요 4단계이다 (NRC, 1983). 위해성 평가에 이용되는 생물지표 (biomarker) 는 생물체에 미치는 외인성 요인들의 영향을 측정할 수 있는 세포 또는 개체수준의 생리, 생화학 및 구조 등의 지표를 지칭하는 용어이다. 생리학적 지표 가운데 생식생물학적 지표들은 독성물질에 의한 장기적이고 지속적인 영향을 평가하는데 중요하게 이용되는 항목이다 (Huggett *et al*., 1992).

이매패류들은 주로 여과섭식에 의해 먹이를 섭취하며, 오염물질의 체내 축적은 용이하지만 체내에서의 해독과 체외방출

Received: September 24, 2016; Revised: September 29, 2016; Accepted: September 30, 2016
Corresponding author : Jung Sick Lee
Tel: +82 (61) 659-7172, e-mail: ljs@jnu.ac.kr
1225-3480/24627
This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License with permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproducibility in any medium, provided the original work is properly cited.

Table 1. Sex ratio of five bivalves species in Korea

Species	Sampling location	Sampling date	Number	Size (mm)	Sex ratio (F:M)
Crassostrea gigas	Myodo (Yeosu)	July 2009	30	SH 26.9 mm	1:2.33 (n = 9:21)
	Gukdong (Yeosu)	May 2010	33	SH 29.7 mm	1:1.36 (n = 14:19)
	Punghwari (Tongyeong)	June 2009	120	SH 37.1 mm	1:3.62 (n = 26:94)
Mytilus galloprovincialis	Gueonghodong (Yeosu)	May 2010	30	SH 43.2 mm	1:0.88 (n = 16:14)
	Janggundo (Yeosu)	May 2010	30	SH 47.3 mm	1:0.76 (n = 17:13)
Ruditapes philippinarum	Uihangri (Taean)	Sep. 2009	59	SL 34.6 mm	1:0.69 (n = 35:24)
	Haechang Bay (Goheung)	June 2011	39	SL 35.8 mm	1:0.86 (n = 21:18)
Gomphina veneriformis	Hyanghori (Jumunjin)	May 2010	57	SL 38.9 mm	1:1.19 (n = 26:31)
	Dongdeokri (Jumunjin)	June 2010	50	SL 37.6 mm	1:0.85 (n = 27:23)
Barnea davidi	Hampyeong Bay (Mooan)	May 2010	38	SL 89.5 mm	1:1.71 (n = 14:24)

SH: shell height, SL: shell length

이 낮기 때문에 해양의 저질과 수질 오염상태를 알아보기 위한 지표종으로 많이 사용되고 있다 (Siah *et al*., 2003).

내분비계장애물질 (endocrine disrupting chemicals: EDCs) 은 특성상 성호르몬 모방효과가 인정되고 있으며, 최근 다양한 종류의 동물에서 자웅동체, 성전환 및 생식불능 등의 생식이상이 EDCs에 의해서 유발되는 것으로 보고되고 있다 (Tyler and Routledge, 1998). EDCs에 의한 이매패류의 생식저해, 성비 불균형, 이성생식세포 발현 현상 (intersex) 등은 *Mya arenaria* (Gauthier-Clerc *et al*., 2002), *Dreissena polymorpha* (Quinn 98*et al*., 2004) 등에서 보고되어 있으며, *Scrobicularia plana* (Chesman and Langston, 2006) 와 대복 *Gomphina veneriformis* (Lee and Park, 2007; Park, 2008; Ju *et al*., 2009) 에서 관찰된 이성생식세포 발현 현상은 EDCs의 복합영향 및 nonylphenol, 유기주석과 아연에 의한 생식이상의 지표로 제시되어 있다.

본 연구는 우리나라 연안의 이매패류 생식 건강도를 알아보기 위한 과정 중에 일부지역에서 자웅이체 이매패류에서 이성생식세포 발현 현상이 관찰되어 이를 보고하고자 한다.

재료 및 방법

분석에 사용한 굴 *Crassostrea gigas*은 여수 2개 지역과 통영 1개 지역에서 채집하였으며, 지중해담치 *Mytilus galloprovincialis* 는 여수 2개 지역, 바지락 *Ruditapes philippinarum*은 태안 의항리와 남해안 해창만, 대복 *Gomphina veneriformis*은 동해안 주문진 2개 지역, 둥글레조개 *Barnea davidi*는 서해안의 함평만에서 채집하였다. 분석에 사용된 시료 수는 486개이며, 모두 자연산이었다 (Table 1).

채집한 시료는 측정형질을 계측한 후 해부하여 생식소가 포함된 내장낭 부위를 적출하여 Bouin 용액으로 12-24시간 동안 실온에서 고정하여 24-48시간 동안 흐르는 물로 수세하였다. 그 후 알코올 탈수과정과 자일렌 치환과정을 거쳐 파라프라스트 (Mccormick, USA) 에 포매하였다. 포매된 시료는 마이크로톰 (RM2235, Leica, Germany) 을 이용하여 4-6 μm 두께로 연속절편하여 조직표본을 제작한 후 Mayer's hematoxylin-eosin (H-E) 염색을 실시하여 광학현미경 (BX50F4, Olympus, Japan) 으로 관찰하였다.

성비와 이성생식세포 발현 현상은 생식소 조직표본을 관찰하여 구분하였다. 이성생식세포 발현 현상은 개체 당 평균 약 1 cm^2 크기의 조직표본 5-10개를 대상으로 관찰하였으며, 반대 성의 생식세포가 관찰되는 경우만을 포함하였다. 종 별 이성생식세포 발현 현상의 조직학적 분석은 굴은 Lee *et al*. (2010), 지중해담치는 Jeon *et al*. (2013), 바지락은 Lee *et al*. (2010) 과 Jeon *et al*. (2015) 그리고 대복은 Ju *et al*. (2009) 의 방법을 기준으로 하였다.

결 과

1. 성비

3개 지역에서 채집한 굴의 성비 (암:수) 는 지역에 따라 다르게 나타났지만, 3개 지역 모두 수컷의 비율이 높았다. 지중해담치와 바지락은 4개 채집지역에서 모두 암컷의 비율이 높았다. 대복은 주문진 향호리에서 채집한 시료에서는 1:1.19로 수컷의 비율이 높았으나 동덕리 시료에서는 1:0.85로 암컷의 비율이 높았으며, 함평만에서 채집한 둥글레조개는 1:1.71로 암컷의 비율이 높게 나타났다 (Table 1).

2. 이성생식세포 보유 개체 출현율 (intersexuality)

조직학적 분석 결과, 이성생식세포 발현 현상이 관찰된 수컷의 정소에서 확인된 난모세포들은 대부분 난황형성전기

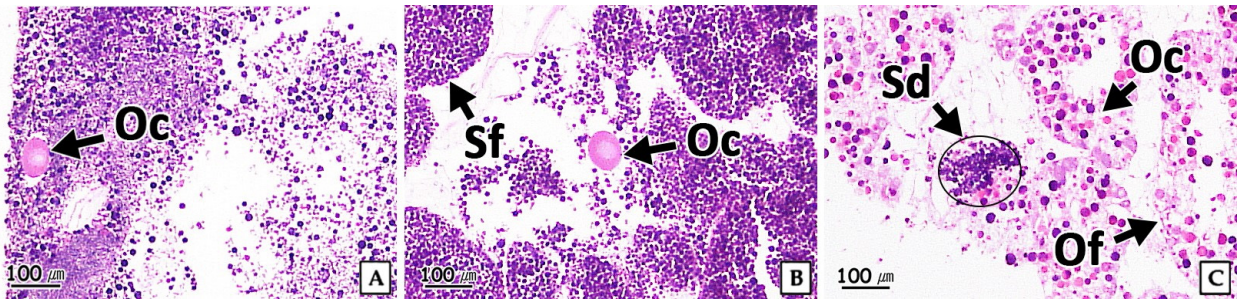

Fig. 1. Intersex gonad of *Barnea davidi*. **A** and **B**: Male, **C**: Female. Oc: oocyte, Of: oogenic follicle, Sd: spermatids, Sf: spermatogenic follicle.

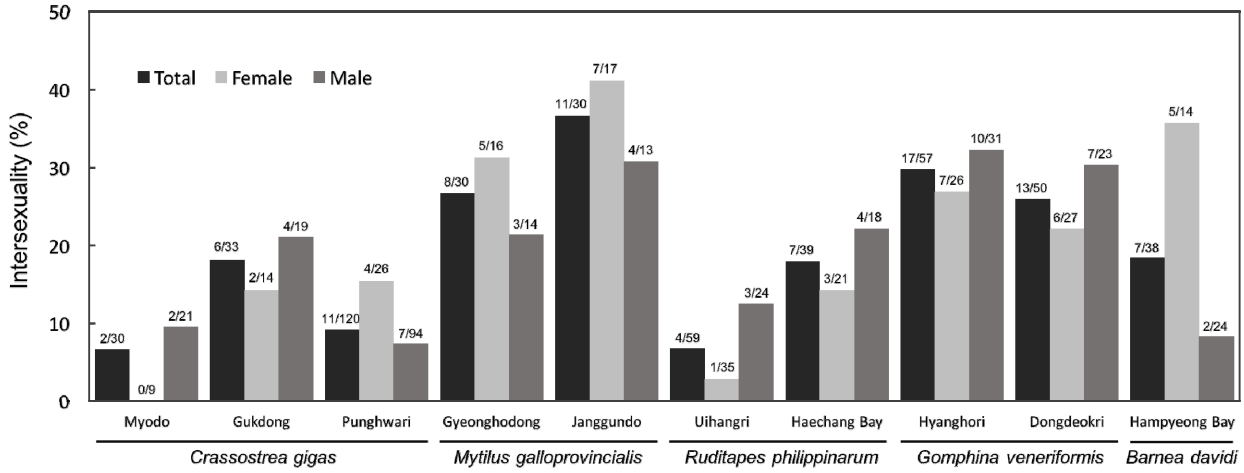

Fig. 2. Intersexuality of five bivalves species in Korea

(previtellogenic stage) 또는 난황형성개시기 (initial vitellogenic stage) 의 초기 난모세포 단계였다. 이들은 단독으로 산재되어 있거나 또는 정자형성소낭 (spermatogenic follicle) 사이에 무리지어 존재하고 있었다 (Fig. 1A, B). 암컷에서 이성생식세포 발현 현상은 정세포 또는 정자 단계의 생식세포들이 난자형성소낭 (oogenic follicle) 내부와 소낭 사이에서 단독 또는 무리지어 나타나는 형태였다 (Fig. 1C).

전체 분석된 굴 183개체에서 이성생식세포 보유 개체 출현율은 약 10.4% (n = 19/183) 였다. 성별로는 암컷에서는 12.2% (n = 6/49), 수컷에서는 9.7% (n = 13/134) 로 수컷보다 암컷에서 높게 나타났다. 조사 지역별 이성생식세포 보유 개체 출현율은 여수 국동 연안에서 18.2%로 가장 높았다. 조사지역 별 성에 따른 이성생식세포 보유 개체 출현율은 여수 묘도와 국동 연안에서 채집된 시료에서는 수컷에서 높았으나 통영 풍화리 연안의 시료에서는 암컷에서 높았다 (Fig. 2).

지중해담치에서 이성생식세포 보유 개체 출현율은 약 31.7% (n = 19/60) 였으며, 여수 경호동 인근해역에서 채집된 시료에서는 26.7% (n = 8/30) 였으며, 장군도 시료에서는 36.7% (n = 11/30) 였다. 성별로는 암컷에서는 36.4% (n = 12/33), 수컷에서는 25.9% (n = 7/27) 로 수컷보다 암컷에서 높게 나타났다 (Fig. 2).

바지락 98개체에서 이성생식세포 보유 개체 출현율은 11.2% (n = 11/98) 였는데, 태안 의항리 시료에서는 6.8% (n = 4/59) 였으며, 해창만 시료에서는 약 18% (n = 7/39) 였다. 성별로는 암컷에서는 7.1% (n = 4/56), 수컷에서는 16.7% (n = 7/42) 로 암컷보다 수컷에서 높았다. 조사지역 별 성에 따른 이성생식세포 보유 개체 출현율은 태안 의항리와 해창만에서 채집된 시료에서 모두 수컷에서 높았다 (Fig. 2).

대복 107개체에서 이성생식세포 보유 개체 출현율은 약 28.0% (n = 30/107) 였는데, 주문진 향호리 시료와 동덕리 시료에서 각각 29.8% (n = 17/57) 와 26.0% (n = 13/50) 였다. 성별로는 암컷에서는 24.5% (n = 13/53), 수컷에서는 약 31.5% (n = 17/54) 로 암컷보다 수컷에서 높았다. 조사지역 별 성에 따른 이성생식세포 보유 개체 출현율은 2개 지역 모두 암컷 보다 수컷에서 높았다 (Fig. 2).

둥글레조개 38개체에서 이성생식세포 발현율은 약 18.4% (n = 7/38) 였는데, 성별로는 암컷에서는 35.7% (n = 5/14), 수컷에서는 8.3% (n = 2/24) 로 수컷에 비해 암컷에서 월등히 높았다 (Fig. 2).

고 찰

환경요소에 반응하는 생물지표들 가운데 성비, 이성생식세포 발현 (intersex), imposex, 생식소 발달단계 및 성호르몬의 변화 등이 생식생물학적 영향을 파악하는데 사용된다. 이러한 지표들은 장기적인 환경조건을 간접적으로 파악할 수 있는 지표로서 생태영향 모니터링에 유용하게 사용된다 (Huggett *et al*., 1992; Bortone and Davis, 1994; Jobling *et al*., 2002; Ju *et al*., 2009).

수질오염원 가운데 하나인 내분비계장애물질 (EDCs) 은 웅성화 또는 자성화 기능을 가짐으로써 수서동물의 생식관련 내분비계를 교란시켜 성의 표현이나 기능을 변화 시킨다 (Iguchi, 1998; 2002; Metrio *et al*., 2003; Quinn *et al*., 2006).

EDCs는 이매패류의 성비와 생식소 발달 등에 영향을 미치는데, 캐나다 Saint Lawrence 강 하구의 유기주석 농도가 높은 조간대 지역에서 *Mya arenaria*의 경우에는 수컷이 63%를 차지한다고 보고되었다 (Gagné *et al*., 2003). Nonylphenol은 농도에 따라 바지락과 대복의 성비를 변화 시킨다 (Matozzo and Marin, 2005; Lee and Park, 2007). 또 다른 연구 결과, nonylphenol, 유기주석, 아연 (Zn) 은 대복의 수컷 비율을 증가시키며, 이성생식세포 발현을 유도한다 (Lee and Park, 2007; Park, 2008; Ju *et al*., 2009).

본 연구 결과, 굴의 성비 (암:수) 는 지역에 따라 다르게 나타났지만, 3개 지역 모두 수컷의 비율이 높았으며, 지중해담치와 바지락은 4개 채집지역에서 모두 암컷의 비율이 높은 성비 불균형 현상을 보였다. 하지만, 이러한 성비 불균형 현상을 이성생식세포 발현 현상과 연관시키기는 쉽지 않다. 굴 (Guo *et al*., 1998; Park *et al*., 2012), 바지락 (Lee *et al*., 2013), 대복 (Shin *et al*., 2014) 은 성전환을 하는 비동시자웅동체 (sequential hermaphrodite) 이매패류 이므로 이들의 성비 불균형이 연령에 의한 것인지 아니면 환경의 화학적 요인에 의한 것인지에 대해서는 추후의 세부적인 연구가 필요하다.

Sadovy and Shapiro (1987) 는 자웅동체 어류에서 생식소 조직의 배치형태를 크게 “delimited type”과 “undelimited type"으로 구분하였다. “delimited type”은 정소조직과 난소조직이 결체성막으로 구분되는 형태이며, “undelimited type”은 정소조직과 난소조직이 구분되기는 하지만 이들 사이에 결체성막은 존재하지 않고 정소조직과 난소조직이 혼합되어 있는 형태이다. 그리고 Chesman and Langston (2006) 은 이매패류인 *Scrobicularia plana* 수컷에서 ovotestis 형태의 이성생식세포 발현 정도를 난모세포 수와 점유정도에 따라 5단계로 구분하였다.

본 연구에서 나타난 이성생식세포 발현 현상은 Sadovy and Shapiro (1987) 의 기준으로 볼 때, 정소조직과 난소조직이 혼합된 “undelimited type"이었으며, 조사 지점에 따라 다소 차이는 있었으나 Chesman and Langston (2006) 이 제시한 5단계가 모두 확인되었다.

Imposex를 비롯한 이성생식세포 발현 현상은 EDCs에 의한 영향의 지표로서 이매패류인 *Scrobicularia plana* (Chesman and Langston, 2006), 굴 (Lee *et al*., 2010), 지중해담치 (Jeon *et al*., 2013), 바지락 (Lee *et al*., 2010; Jeon *et al*., 2015) 그리고 복족류인 *Nucella lapillus* (Gibbs *et al*., 1988), 대수리 *Thais clavigera*와 두드럭고둥 *T. bronniin* (Horiguchi *et al*., 1994) 그리고 *Haliotis madaka* (Horiguchi *et al*., 2000) 에서 생식이상의 지표로 제시되고 있다.

국내에서 이매패류의 이성생식세포 발현 현상들이 지속적으로 보고되고 있다. 이매패류의 이성생식세포 보유 개체 출현율은 여수, 통영, 거제의 6개 지역에서 채집한 굴에서 약 6-54% (Lee *et al*., 2010), 여수 가막만 지중해담치에서 26.4% (Jeon *et al*., 2013) 그리고 여수 5개 지역의 바지락에서 약 15-81% (Lee *et al*., 2010) 로 보고되고 있다. 본 연구에서도 굴에서는 약 10.4%, 지중해담치에서 약 31.7%, 바지락에서 11.2%, 대복에서 약 28% 그리고 둥글레조개에서 약 18.4%의 이성생식세포 보유개체 출현율을 보였다.

위에서 언급한 다양한 이매패류의 이성생식세포 발현과 이러한 현상의 원인요인들을 연관해 볼 때, 본 연구에서 확인된 5종 이매패류의 이성생식세포 발현 현상은 수중오염원에 의한 것으로 판단된다. 하지만, 본 연구는 NRC (1983) 에서 제시한 제 1단계의 위험성 확인 (hazard identification) 단계의 연구로서 본 연구 결과에 대한 주요 오염원의 종류 및 구체적인 인과관계 등에 관해서는 추후의 연구가 필요하다.

EDCs의 영향은 생물종, 연령 및 생활사에 따라 큰 차이를 보이며 (Niimi, 1983), 이러한 화학물질들은 대부분 지용성으로서 생태계 내에서의 잔류성이 높아 매체 간 이동 및 먹이연쇄를 통한 생체농축이 일어날 수 있고 저농도로 분포하는 경우에도 먹이연쇄의 상위단계에 있는 야생동물이나 인간에게 악영향을 줄 수 있다 (Longnecker *et al*., 1997; Nilsson, 2000; Safe, 2000).

굴을 비롯한 이매패류는 해양생태계의 먹이연쇄에서 중요한 역할을 할 뿐만 아니라 수산식품으로서 안전성이 요구되는 종들로서 해양생태계의 관리, 해양생물자원의 보존 및 수산물 안전성 측면에서 관리가 필요할 것으로 판단된다.

요 약

본 연구에서는 한국 연안의 생태학적 건강도를 조사하는 과

정에서 이매패류 5종 (굴, 지중해담치, 바지락, 대복, 둥글레조개) 에서 발견된 이성생식세포 발현현상을 보고한다. 암컷에서 이성생식세포 발현 현상은 반대 성의 생식세포들이 난자형성 소낭 내부와 소낭 사이에서 단독 또는 무리지어 나타나는 형태였다. 이성생식세포 발현 현상이 관찰된 정소에서 난모세포들은 대부분 난황형성전기 또는 난황형성개시기 단계였다. 이들은 단독으로 산재되어 있거나 또는 정자형성소낭의 내부와 소낭 사이에 무리지어 존재하고 있었다. 굴에서 이성생식세포 발현율은 약 10.4% (n = 19/183) 로 수컷 (9.7%, n = 13/134) 보다 암컷 (12.2%, n = 6/49) 에서 높게 나타났다. 지중해담치에서 이성생식세포 발현율은 약 31.7% (n = 19/60) 였으며, 수컷 (25.9%, n = 7/27) 보다 암컷 (36.4%, n = 12/33) 에서 높게 나타났다. 바지락 이성생식세포 발현율은 11.2% (n = 11/98) 였는데, 암컷 (7.1%, n = 4/56) 보다 수컷 (16.7%, n = 7/42) 에서 높았다. 대복의 이성생식세포 발현율은 약 28% (n = 30/107) 로 암컷 (24.5%, n = 13/53) 보다 수컷 (31.5%, n = 17/54) 에서 높았다. 둥글레조개에서 이성생식세포 발현율은 약 18.4% (n = 7/38) 였는데, 수컷 (8.3%, n = 2/24) 에 비해 암컷 (35.7%, n = 5/14) 에서 높았다.

REFERENCES

Bortone, S.A. and Davis, W.P. (1994) Fish intersexuality as indicator of environmental stress: Monitoring fish reproductive systems can serve to alert humans to potential harm. *BioScience*, **44**: 165-172.

Chesman, B.S. and Langston, W.J. (2006) Intersex in the clam *Scrobicularia plana*: a sign of endocrine disruption in estuaries? *Biology Letters*, **2**: 420-422.

Gagné, F., Blaise, C., Pellerin, J., Pelletier, E., Douville, M., Gauthier-Clerc, S. and Viglino, L. (2003) Sex alteration in soft-shell clams, *Mya arenaria* in an intertidal zone of the Saint Lawrence River (Quebec, Canada), *Comparative Biochemistry and Physiology Part C*, **134**: 189-198.

Gauthier-Clerc, S., Pellerin, J., Blaise, C. and Gagné, F. (2002) Delayed gametogenesis of *Mya arenaria* in the Saguenay fjord (Canada): a consequence of endocrine disruptors? *Comparative Biochemistry and Physiology Part C,* **131**: 457-467.

Gibbs, P.E., Pascoe, P.L. and Burt, G.R. (1988) Sex change in the female dog-whelk, *Nucella lapillus* induced by tributyltin from antifouling paints. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom,* **68**: 715-731.

Guo, X., Hedgecock, D., Hershberger, W.K., Cooper, K., Allen Jr., S.K. Jr. 1998. Genetic determinants of protandric sex in the Pacific oyster, *Crassostrea gigas* Thunberg. *Evolution*, **52**: 394-402.

Horiguchi, T., Shiraishi, H., Shimizu, M. and Morita, M. (1994) Imposex and organotin compounds in *Thais clavigera* and *T. bronniin* in Japan. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, **74**: 651-669.

Horiguchi, T., Takiguchi, N., Cho, H.S., Kojima, M., Kaya, M., Shiraishi, H., Morita, M., Hirose, H. and Shimizu, M. (2000) Ovo-testis and disturbed reproductive cycle in the giant abalone, *Haliotis madaka*: possible linkage with organotin contamination in a site of population decline. *Marine Environmental Research*, **50**: 223-229.

Huggett, R.J., Kimerle, R.A., Mehrle, P.M. and Bergman, H.L. (1992) Biomarkers: biochemical, physiological, and histological markers of anthropogenic stress. Lewis Publishers, London, pp. 347.

Iguchi, T. (1998) Environmental endocrine disruptors. *Japanese Journal of Clinical Medicine*, **56**: 2953-2962.

Jeon, M.A., Kang, J.C. and Lee, J.S. (2013) Concentration of heavy metal and alteration of reproductive and histological biomarker of *Mytilus galloprovincialis* in Gamak Bay of the southern coast of Korea. *The Korean Journal of Malacology*, **29**: 33-41.

Jeon, M.A., Kim, H., Choi, J.S. and Lee, J.S. (2015) Concentration of trace metals, intersexuality and histological alterations of *Ruditapes philippinarum* from Gamak Bay in Korea. *The Korean Journal of Malacology*, **31**: 137-142.

Jobling, S., Coey, S., Whitmore, J.G., Kime, D.E., Van Look, K.J.W., McAllister, B.G., Beresford, N., Henshaw, A.C., Brisghty, G., Tyler, C.R. and Sumpter, J.P. (2002) Wild intersex roach, *Rutilus rutilus* have reduced fertility. *Biology of Reproduction*, **67**: 515-524.

Ju, S.M., Park, J.J. and Lee, J.S. (2009) Induction of intersex and masculinization of the equilateral venus, *Gomphina veneriformis* (Bivalvia: Veneridae) by zinc. *Animal Cells and Systems*, **13**: 339-344.

Lee, J.S. and Park, J.J. (2007) Risk assessment of nonylphenol using sex ratio, sexual maturation, intersex and lipofuscin accumulation of the equilateral venus, *Gomphina veneriformis* (Bivalvia: Veneridae). *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **40**: 16-23.

Lee, J.S., Lee, Y.G., Kang, S.W., Park, J.S., Lee, D.G., Jeon, M.A. and Ju, S.M. (2010) Intersexuality of *Crassostrea gigas* and *Ruditapes philippinarum* in southern coastal waters of Korea. *Environmental Health and Toxicology*, **25**: 287-294.

Lee, J.S., Park, J.S., Shin, Y.K., Lee, Y.G. and Park, J.J. (2013) Sequential hermaphroditism in Manila clam *Ruditapes philippinarum* (Bivalvia: Veneridae). *Invertebrate Reproduction and Development*, **57**: 185-188.

Longnecker, M.P., Rogan, W.J. and Lucier, G. (1997) The human health effects of DDT (dichlorodiphenyl-trichloroethane) and PCBs (polychlorinated biphenyls) and an overview of organochlorines in public health. *Annual Revieus Public Health*, **18**: 211-244.

Matozzo, V. and Marin, M.G. (2005) Can 4-nonylphenol

induce vitellogenin-like proteins in the clam, Tapes philippinarum? *Environmental Research*, **97**: 43-49.

Metrio, G.D., Corriero, A., Desantis, S., Zubani, D., Cirillo, F., Deflorio, M., Bridges, C.R., Eicker, J., de la Serna, J.M., Megalofonou, P. and Kime, D.E. (2003) Evidence of a high percentage of intersex in the Mediterranean swordfish, *Xiphias gladius* L.. *Marine Pollution Bulletin*, **46**: 358-361.

Nilsson, R. (2000) Endocrine modulators in the food chain and environment. *Toxicologic Pathology*, **28**: 420-431.

NRC (National Research Council). (1983) Risk assessment in the federal government: managing the process, National Academy Press, Washington DC, pp. 192.

Park, J.J. (2008) Study on the bioindicator of the equilateral venus, *Gomphina veneriformis* (Bivalvia: Veneridae) chronically exposed to TBT (tributytin chloride). Ph.D. Thesis, Chonnam National University, pp. 222.

Park, J.J., Kim, H., Kang, S.W., An, C.M., Lee, S.H., Gye, M.C. and Lee, J.S. (2012) Sex ratio and sex reversal in two-year-old class of oyster, *Crassostrea gigas* (Bivalvia: Ostreidae). *Development & Reproduction*, **16**: 385-388.

Quinn, B., Gagné, F., Blaise, C., Costello, M.J., Wilson, J.G. and Mothersill, C. (2006) Evaluation of the lethal the sub-lethal toxicity and potential endocrine distupting effect of nonylphenol on the zebra mussel, *Dreissena polymorpha*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C,* **142**: 118-127.

Quinn, B., Gagne, F., Costello, M., McKenzie, C., Wilson, J. and Mothersill, C. (2004) The endocrine disrupting effect of municipal effluent on the zebra mussel, *Dreissena polymorpha*. *Aquatic Toxicology*, **66**: 279-292.

Sadovy, Y. and Shapiro, D.Y. (1987) Criteria for the diagnosis of hermaphroditism in fishes. *Copeia*, **1987**: 136-156.

Safe, S.H. (2000) Endocrine disruptors and human health: Is there a problem? *Environmental Health Perspectives*, **108**: 487-493.

Shin, Y.K., Park, J.J., Choi, J.S. and Lee, J.S. (2014) Indirect evidence on sex reversal of *Sinonovacula comstricta* (Bivalvia: Euheterodonta) and *Gomphina veneriformis* (Bivalvia: Veneridae). *Development & Reproduction*, **18**: 73-78.

Siah, A., Pellerin, J., Amiard, J.-C., Pelletier, E. and Viglino, L. (2003) Delayed gametogenesis and progesterone levels in soft-shell clams, *Mya arenaria* in relation to in situ contamination to organotins and heavy metals in the St. Lawrence River (Canada). *Comparative Biochemistry and Physiology Part C*, **135**: 145-156.

Tyler, C.R. and Routledge, E.J. (1998) Natural and anthropogenic environmental oestrogens: the scientific basis for risk assessment, oestrogenic effects in fish in English rivers with evidence of their causation. *Pure and Applied Chemistry*, **70**: 1795-1804.